

# 球团铁矿冶金性能综合测定系统的研制与评价\*

张鸟飞<sup>1</sup> 徐福伟<sup>1</sup> 韩健<sup>1</sup> 张关来<sup>2</sup> 张才敏<sup>1</sup>

(1. 嵊泗出入境检验检疫局; 2. 上虞市宏兴机械仪器制造有限公司)

**摘要** 为准确评价球团铁矿的冶金性能,自主研发了可准确测定球团铁矿相对还原度、自由膨胀指数等物理参数的球团铁矿冶金性能综合测定系统,并通过试验对此系统的测定准确度进行了评价。评价结果表明:球团铁矿冶金性能综合测定系统在测定球团铁矿相对还原度和自由膨胀指数时具有与国外先进设备相当的准确度和精密度,应用前景广阔。

**关键词** 球团铁矿 冶金性能 测定系统 性能评价 相对还原度 自由膨胀指数

球团铁矿具有含铁品位高、粒度均匀、还原性能好、机械强度高、微气孔多等特性<sup>[1]</sup>,是高炉炼铁的重要原料之一。近年来国内外普遍认识到球团铁矿高温状态下冶金性能是评价炉料质量的重要指标<sup>[2-5]</sup>。然而目前,由于国内外标准<sup>[6-7]</sup>对试验设备只提出若干参数,没有提供定型设备或规定统一模式,国内应用铁矿石冶金性能测定装置,都只能对单一性能进行测定。为适应钢铁生产及科学试验的需要,研发了球团铁矿冶金性能综合测定系统,该套系统能测定球团铁矿相对还原度、自由膨胀指数、还原速率等多项物理指标。通过试验对该系统测定的准确度进行评价时发现,该套系统在测定球团矿相对还原度和自由膨胀指数时具有与国外先进检测仪器相当的准确度和精密度,且该套系统还能测定球团矿还原速率等其他参数,具有广阔的应用前景。

## 1 球团铁矿冶金性能综合测定系统简介

球团铁矿冶金性能综合测定系统主要由还原反应罐、球团还原试样容器、实时在线称量系统、高温加热电炉及炉架、还原尾气处理装置及升降架、加热炉温度调控及检测过程控制系统、还原气供应系统、球团体积测定装置等构成。

球团铁矿冶金性能综合测定系统主要配件参数指标为:①还原反应罐外筒外径100 mm,高800 mm,内管内径75 mm;②球团还原试验容器总高度120 mm;③电子天平最大负荷16 000 g,精度0.1 g;④还原试验吊挂连续称量精度为1 g,粉化筛分称量精度为0.1 g;⑤还原炉采用3段控温方式,

加热温度为 $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$ ,匀速升温 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ;⑥还原炉尺寸高度为920 mm,外径为520 mm;⑦还原炉膛内径为150 mm,高为720 mm,炉口内径为120 mm;⑧还原炉3段加热总功率9~10 kW;⑨还原炉恒温区高度488 mm;⑩还原炉 $900^\circ\text{C}$ 恒温功率1.5~2.0 kW。综合测定系统效果图见图1。

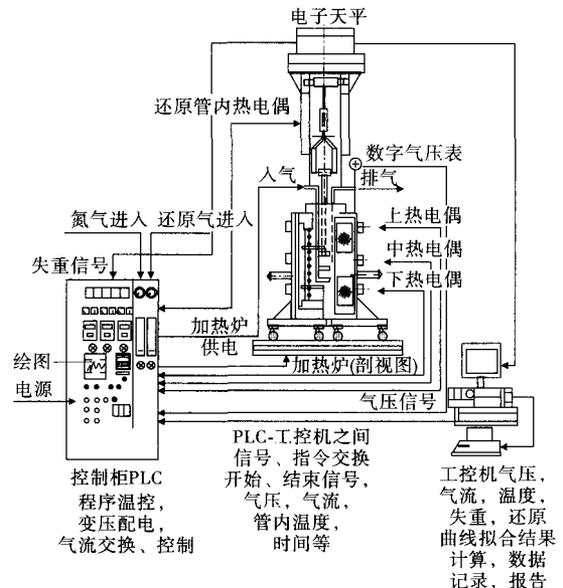


图1 球团铁矿冶金性能综合测定系统示意图

## 2 试验测评

### 2.1 试验设备

对比测评试验采用自主研发的球团铁矿冶金综合测定系统和由日本东洋制作所制造的进口还原/膨胀兼用机(型号SDR-12)分别对球团矿相对还原度和自由膨胀指数进行测定评价。

### 2.2 试验样品

测试样品采用巴西产球团铁矿,自由膨胀系数测定样品为萨玛珂球团和CVRD-AF08球团,相对还原度测定样品采用萨玛珂球团和CVRD-AF40球

\* 基金项目:浙江出入境检验检疫局科技计划项目(ZK201237)。

张鸟飞(1981—),男,工程师,202450 浙江省舟山市嵊泗县菜园镇东海路51号。

团。试验前测试样品在 $(105 \pm 5)$  °C 的温度下烘干,烘干时间不小于2 h、冷却、保存至干燥器中,并按标准要求筛分出10.0~12.5 mm 的试验样品。

### 2.3 测试方法

#### 2.3.1 球团矿自由膨胀指数的测定方法

球团矿的自由膨胀指数测定采用标准为ISO 4698:2007<sup>[8]</sup>,即在等温还原条件下,把测试样品放在 $(900 \pm 10)$  °C 的加热炉上自由还原,用一氧化碳和氮气作为还原气体还原60 min,冷却至室温,使用容量仪测定室温下球团矿的体积。用2个体积之差计算自由膨胀指数(以百分数表示)。

还原膨胀指数RSI计算按下式

$$RSI = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100, \quad (1)$$

式中, $V_0$  为还原前试样体积,mL; $V_1$  为还原后试样体积,mL。

#### 2.3.2 球团铁矿相对还原度的测定方法

球团铁矿相对还原度测定采用标准为ISO7215:

2007<sup>[9]</sup>,即把试样放入反应管中,用一氧化碳和氮气的混合气作为还原气,在 $(900 \pm 10)$  °C 的温度下,还原3 h,冷却至室温,按下式计算相对还原度

$$R_t = \left( \frac{0.111W_1}{0.430W_2} - \frac{m_1 - m_t}{m_0 \times 0.430W_2} \times 100 \right) \times 100, \quad (2)$$

式中, $m_0$  为试样的质量,g; $m_1$  为还原开始前试样的质量,g; $m_t$  为还原3 h后的试样的质量,g; $W_1$  为试验前试样中FeO的含量,%; $W_2$  为试验前试样的全铁含量,%。

### 3 测评结果与分析

#### 3.1 球团矿膨胀指数测定结果及评价

采用2种测试系统分别对2批球团矿进行自由膨胀指数测定,每批球团矿测定8次,并采用统计学的F检验法和t检验法对2种分析方法的精密度和准确度是否存在显著性差异进行考查,球团矿自由膨胀指数测试结果见表1。

表1 球团矿自由膨胀指数测定结果

检测设备	矿种	自由膨胀指数/%								平均值 /%	标准 偏差
		1	2	3	4	5	6	7	8		
综合测定 系统	CVRD-AF40 球团	12.3	12.4	12.6	12.0	11.8	11.6	12.4	12.3	12.2	0.34
	CVRD-AF08 球团	9.8	8.6	8.8	9.6	9.4	8.7	8.9	9.4	9.2	0.45
还原/膨胀 兼用机	CVRD-AF40 球团	12.6	12.8	12.1	11.8	12.5	11.9	12.7	12.0	12.3	0.39
	CVRD-AF08 球团	9.0	8.9	9.7	8.8	9.6	8.7	9.3	9.1	9.1	0.37

#### 3.1.1 F检验法判断2种测试方法的精密度差异

采用F检验法对2种测试系统对球团矿CVRD-AF40的检测结果的精密度进行评价,根据公式 $F_j = S_d^2/S_x^2$ , $F_j = 1.32$ ,在一定的置信度(95%)和相应自由度(7,7)下,查F值表, $F_b = 3.79$ , $F_j < F_b$ ,结果表明2种方法在测定球团矿CVRD-AF40时,精密度无显著性差异。

按上述原理,测定CVRD-AF08球团矿时, $F_j = 1.48$ , $F_j < F_b$ ,结果表明2种方法在测定球团矿CVRD-AF08时,精密度无显著性差异。

#### 3.1.2 t检验法判断2种测试方法的准确度差异

采用t检验法判断2种检测方法的准确度差异,计算公式如下

$$s_h = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (3)$$

$$t_j = \frac{|x_1 - x_2|}{s_{\text{合}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (4)$$

在测定CVRD-AF40球团矿时, $s_h = 0.37$ , $t_j = 0.54$ ,在一定的置信度(95%)和相应自由度(7,7)下,查t表, $t_b = 2.365$ , $t_j < t_b$ ,结果表明2种方法在测定球团矿CVRD-AF40时,准确度无显著性差异。

按上述原理,在测定CVRD-AF08球团矿时, $s_h = 0.41$ , $t_j = 0.49$ ,在一定的置信度(95%)和相应自由度(7,7)下,查t表, $t_b = 2.365$ , $t_j < t_b$ ,结果表明2种方法在测定球团矿CVRD-AF08时,准确度无显著性差异。

#### 3.2 球团矿相对还原度测定结果及评价

采用2种测试系统对2批球团矿萨玛珂球团和CVRD-AF40球团试样进行相对还原度测定,并采用统计学的F检验法和t检验法对2种分析方法的精密度和准确度是否存在显著性差异进行考查,相对还原度测试结果见表2。

#### 3.2.1 F检验法判断2种测试方法的精密度差异

采用F法对2种测试系统对萨玛珂球团相对还原度测定结果的精密度进行评价,按计算公式, $F_j = S_d^2/S_x^2$ , $F_j = 1.53$ ,在一定的置信度(95%)和相应自由度(7,7)下,查F值表, $F_b = 3.79$ , $F_j < F_b$ ,结果表明2种方法在测定萨玛珂球团时,精密度无显著性差异。

按上述原理,在测定CVRD-AF40球团时, $F_j = 2.76$ ,在一定的置信度(95%)和相应自由度(7,7)

表 2 球团矿相对还原度测定结果

检测设备	矿种	相对还原度/%								平均值 /%	标准 偏差
		1	2	3	4	5	6	7	8		
综合测定 系统	萨玛珂球团	78.2	78.1	80.0	79.2	78.8	79.3	78.3	79.4	78.9	0.68
	CVRD-AF40 球团	83.0	81.5	82.3	82.4	80.2	83.2	82.6	83.3	82.3	1.03
还原/膨胀 兼用机	萨玛珂球团	78.2	78.3	79.0	78.2	79.8	78.3	78.7	78.4	78.6	0.55
	CVRD-AF40 球团	82.0	81.7	82.1	81.9	81.2	82.6	81.4	83.1	82.0	0.62

下,查  $F$  值表,  $F_b = 3.79, F_j < F_b$ , 则两种方法在测定 CVRD-AF40 球团时,精密度无显著性差异。

### 3.2.2 t 检验法判断 2 种测试方法的准确度差异

采用  $t$  检验法对 2 种测试系统对萨玛珂球团矿相对还原度的测定结果的精密度进行评价按公式,  $s_{h1} = 0.62, t_j = 0.97$ , 在一定的置信度(95%)和相应自由度(7,7)下,查  $t$  表,  $t_b = 2.365, t_j < t_b$ , 表明 2 种方法在测定萨玛珂球团矿时,准确度无显著性差异。

按上述原理,测定 CVRD-AF40 球团矿时,  $s_{h1} = 0.85, t_j = 0.71$ , 在一定的置信度(95%)和相应自由度(7,7)下,查  $t$  表,  $t_b = 2.365, t_j < t_b$ , 表明 2 种方法在测定球团矿 CVRD-AF7140 时,准确度无显著性差异。

## 4 结 语

通过对比试验对自主研发的球团铁矿冶金性能综合测定系统测定球团铁矿相对还原度、自由膨胀指数的准确度进行了评价。评价结果显示,该套系统设备在对球团矿的自由膨胀指数和相对还原度进行测试时具有与国外先进设备相当的准确度和精密度,检测结果无显著性差异。在研制该套系统时,还增加了球团矿低温粉化率、还原速率等其他物理项目的检测功能,进一步拓展了该套测定系统的应用空间和应用前景广阔。

(上接第 104 页)

### 2.4 竣工验收质量的管理

竣工验收是大修质量管理的最后一个环节,是全面考核其成果和检验检修质量的重要步骤,也是转入生产的重要标志。在大修施工结束后,由设备管理部门及质管等单位共同按照验收程序对设备进行大修竣工验收工作。通过检查大修记录,进行空载及负荷试车,对发现的在设计、施工、材料、备件等环节存在的质量缺陷,要及时进行返修。只有在设备的各项性能指标均达到了质量验收标准后,方可进行正式验收,并签署设备大修验收文件。验收后,要系统地整理大修技术资料,并移交档案部门保存。最后,设备交付生产使用。

## 3 结 语

通过在 WD-400 型挖掘机大修过程中实施质量

## 参 考 文 献

- [1] 孟光栋,陈江华,李奕潼. 球团生产工艺分析及改进建议[J]. 矿业工程,2012,10(5):28-30.
- [2] 吕晓芳,刘玉江,王振华. 提高球团矿性能的试验[J]. 河北冶金,2013(1):9-12.
- [3] 叶匡吾. 关于我国球团矿质量问题的探讨[J]. 烧结球团,2005,30(5):1-4.
- [4] 甄彩玲. 改善球团矿质量的生产实践[J]. 钢铁研究,2012,40(6):52-54.
- [5] 邓 岩,张青山,周吉祥. 浅谈提高球团质量的措施及实践[J]. 金属矿山,2003(11):60-61.
- [6] 中华人民共和国冶金工业部. GB/T 13241:1991 铁矿石还原性的测定方法[S]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [7] 中华人民共和国冶金工业部. GB/T 13240:1991 铁矿球团相对自由膨胀指数的测定方法[S]. 北京:中国标准出版社,1992.
- [8] Technical Committee ISO/TC 102. ISO 4698:2007 Iron ore pellets for blast furnace feedstocks -Determination of the free-swelling index[S]. Switzerland:The International Organization for Standardization,2007.
- [9] Technical Committee ISO/TC 102. ISO 7215:2007 Iron ores for blast furnace feedstocks-Determination of the reducibility by the final degree of reduction index[S]. Switzerland:The International Organization for Standardization,2007.

(收稿日期 2014-02-25)

管理,有效地消除了设备老化对安全生产、可靠运行的影响,使设备的技术性能得以有效恢复,取得了良好的经济技术指标。加强设备大修的质量管理,通过科学的手段建立和完善大修制度及规范,对提高维修质量,进一步发挥设备使用效能,延长其使用寿命有着极其重要的意义。

## 参 考 文 献

- [1] 丁士昭. 建设工程项目管理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [2] 吴先文. 机械设备维修技术[M].2版. 北京:人民邮电出版社,2012.
- [3] 洪孝安. 设备管理与维修手册[M].2版. 长沙:湖南科技出版社,2007.

(收稿日期 2013-12-09)